

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-239327

(43)公開日 平成10年(1998)9月11日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 1 N 37/00
G 0 1 B 7/34
21/30

識別記号

F I

G 0 1 N 37/00
G 0 1 B 7/34
21/30

F
Z
Z

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 5 頁)

(21)出願番号

特願平9-39490

(22)出願日

平成9年(1997)2月24日

(71)出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72)発明者 西本 尚弘

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

株式会社島津製作所三条工場内

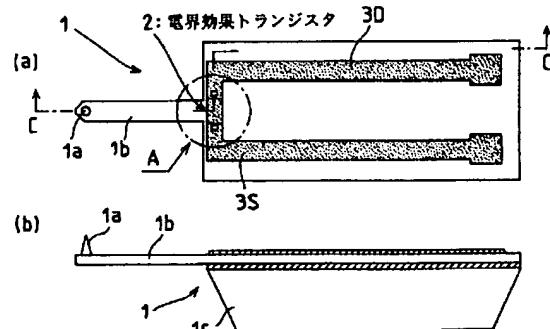
(74)代理人 弁理士 倉内 義朗

(54)【発明の名称】 走査型プローブ顕微鏡

(57)【要約】

【課題】 カンチレバー先端の探針の変位を光学系を用いることなく検出できる、簡単な構造の走査型プローブ顕微鏡を提供する。

【解決手段】 カンチレバー部1 bの少なくとも固定端部に、ゲート部2 Gに圧電体(例えばP Z T薄膜TF)をもつ電界効果トランジスタ2を形成し、この電界効果トランジスタの出力変化から探針1 aの変位を検出するよう構成することで、カンチレバーチップ1に自己変位検出機能を持たせる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 探針をもつカンチレバーチップと、このチップの探針と試料とを2次元方向に相対的に移動する機構を有し、その移動過程で探針の変位を検出して試料表面の微細構造の測定情報を得る顕微鏡において、上記カンチレバーチップには、カンチレバー部の少なくとも固定端部に、ゲート部に圧電体をもつ電界効果トランジスタが形成され、その電界効果トランジスタの出力変化から上記探針の変位を検出するように構成されていることを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は走査型プローブ顕微鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】図1に、走査型プローブ顕微鏡の一つであるAFM(原子間引力顕微鏡)の従来の構成例を示す。このAFMは、先端に曲率半径の小さい探針を備えたカンチレバーリと、このカンチレバーリの変位を検出する光学系Dによって構成されており、探針を試料Sの表面に近づけると、試料Sと探針との間に働く力により、カンチレバーリが撓み点を利用し、そのカンチレバーリの撓みを光学系Dによって検出する、いわゆる光てこ方式を採用した顕微鏡である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図1に示した構造の場合、カンチレバーチップとは別に、変位検出用の光学系が必要で装置が大型になるという問題がある。また、高真空中で測定行いたい場合には検出系も真空中に配置する必要があり、構成に制限を受けることになる。さらに、カンチレバーチップは使用量が多くなれば先端探針が摩耗するためチップの交換が必要になるが、チップの交換ごとに、都度、精密な光軸調整を行う必要がある。

【0004】本発明はそのような実情に鑑みてなされたもので、カンチレバー先端の探針の変位を光学系を用いることなく検出できる、簡単な構造の走査型プローブ顕微鏡の提供を目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明の走査型プローブ顕微鏡は、測定に使用するカンチレバーチップが、カンチレバー部とこのレバー部の自由端に形成された探針を備えた構造で、カンチレバー部の少なくとも固定端部に、図3に例示するように、ゲート部2Gに圧電体(例えばPZT薄膜TF)をもつ電界効果トランジスタ2が形成され、その電界効果トランジスタ2の出力変化から探針の変位を検出するように構成されていることによって特徴づけられる。

【0006】以上の構成において、探針が試料表面の原子から、引力あるいは斥力を受けてカンチレバー部が撓

2

むとレバー固定端部に応力が生じる。このとき、カンチレバー部の少なくとも固定端部に形成された圧電体にはその応力に応じた分極が起こり、この分極によって生じた電位差は、電界効果トランジスタのチャンネル2C(図3参照)のコンダクタンスを変化させ、その結果として、トランジスタのソースドレイン間にはカンチレバーの撓みに応じた出力変化が生じる。従って電界効果トランジスタの出力変化を外部回路で検出すれば、その検出値から探針の変位を知ることができる。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を、以下、図面に基づいて説明する。この実施の形態の走査型プローブ顕微鏡は、図1に示した公知の顕微鏡と同様に、探針をもつカンチレバーチップと、試料Sを走査するためのステージ等によって構成されているが、そのカンチレバーチップの構造に特徴がある。

【0008】すなわち、この例のカンチレバーチップ1は、図2(a), (b)の模式図に示すように、カンチレバー部1bとこれを支持する台座1cと、カンチレバー部1bの自由端に設けられた探針1aを備えたシリコン製のチップで、そのカンチレバー部1bの固定端部に変位検出用の電界効果トランジスタ2が形成されている。

【0009】その電界効果トランジスタ2は、図3(a), (b)の模式図に示すように、n型層中にp型のソース領域2S及びドレイン領域2Dが形成され、かつ、ゲート部2Gに圧電薄膜(PZT)TFが形成された素子で、そのソース領域2S及びゲート部2Gに導通する電極3Sと、ドレイン領域2Dに導通する電極3Dがそれぞれ形成されている。

【0010】以上の構成において、探針1aが試料の表面原子から引力あるいは斥力を受けてカンチレバー部1bが撓みレバー固定端部に応力が生じると、その応力に応じてゲート部2Gの圧電薄膜TFの両側に電圧が生じ、これが電界効果トランジスタのVGの変化となる。これによって素子固有の伝達特性にしたがってドレイン電流が変化し、ソース-ドレイン間に output 变化が生じる。この出力変化を外部の検出回路等によって検出すれば、その検出値が探針1aの変位に関する情報となる。

【0011】次に、圧電薄膜TFの両側に生じる電圧の数値例を以下に述べる。まず、カンチレバー1の形状寸法を、長さl、厚さt₁で、レバー先端の変位がdのとき、電界効果トランジスタ2のゲート部2Gの圧電薄膜TFに生じる応力σは、

【0012】

【数1】

$$\sigma = \frac{d \cdot 3E \cdot t_1}{2L^2}$$

【0013】で与えられる。ただし、Eはシリコン単結晶のヤング率；1.9 × 10¹¹N/cm²である。これ

3

に対して圧電薄膜TFの両側に生じる電圧Vは、圧電薄膜の厚さを t_2 として、

$$V = g_{31} \cdot \sigma \cdot t_2$$

となる。ただし、 g_{31} はPZTの長さ方向の電圧出力定数； $1.0 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ である。

【0014】ここで、カンチレバーの長さを 100μ *

$$\left. \begin{aligned} V &= g_{31} \cdot \frac{d \cdot 3E \cdot t_1}{2L^2} \cdot t_2 \\ &= 10 \times 10^{-3} \cdot \frac{1 \times 10^{-9} \times 3 \times 1.9 \times 10^{11} \times 5 \times 10^{-6}}{2 \times (100 \times 10^{-6})^2} \cdot 1 \times 10^{-6} \\ &= \frac{3 \times 1.9 \times 5}{2} \times 10^{-4} [\text{V}] \\ &= 14.25 \times 10^{-4} [\text{V}] \end{aligned} \right\}$$

4

* m、厚さを $5\mu\text{m}$ 、圧電薄膜TFの厚さを $1\mu\text{m}$ とすると、カンチレバーの先端が 1nm だけ変位したときに、圧電薄膜TFの両側に生じる出力電圧Vは、

$$V = 1.4 \text{ [mV]}$$

【0015】

【数2】

【0016】程度となり、これが電界効果トランジスタのVGの変化となる。そして、この実施の形態においては、図1に示したような構成により、試料Sとカンチレバーチップの探針1aとを相対的に移動させながら、電界効果トランジスタ2の出力変化を位置情報として検出することにより、試料面内の情報を得ることができる。

【0017】次に、図2の構造のカンチレバーチップ1を作製する手順を、以下、図4に示す工程(1)～(9)を参照して説明する。なお、図4は図2に示すカンチレバーチップをC-C線で切断して示す模式的展開図である。

【0018】(1) まず、n型SOIウェハ11(Silicon on Insulator；シリコン中に酸化膜層11aがあるウェハ)を材料とする。

(2) ウェハ11の表面に酸化膜を形成し、これをフォトリソグラフィー技術を用いて、円形にバーニングし、このバーニング後の酸化膜12をマスクとしてシリコンのエッチングを行い、探針1aを形成する。ここではドライエッティング(RIE；反応性イオンエッティング)を用いるが、KOHなどを用いたウェットエッティングであってもよいし、あるいはこれらの組み合わせてもよい。

【0019】(3) 热酸化を行い、ウェハ11の表面に酸化膜13を形成する。

(4) カンチレバー1bの固体端部となる部分(図2参照)に、選択的にホウ素イオン注入及び拡散を行い、ソース領域2S、ドレイン領域2D(図3参照)を形成する。

【0020】(5) チタン酸ジルコニウム酸鉛(PZT)焼結体をターゲットとするスパッタリング法により圧電層(例えば膜厚； $1\mu\text{m}$)を形成し、フォトレジストをマスクとするアルゴンイオンエッティングによりバーニングを行って、ゲート部2Gに圧電薄膜TFを形成する。

※【0021】(6) 酸化膜13の一部にソース領域2S及びドレイン領域2D用のコンタクトを形成する。

(7) スパッタリング等により電極用のA1を成膜し、そのA1膜をバーニングし、次いでシントリギングを施して、ソース領域2Sとゲート部2Gに導通する電極3S、及びドレイン領域2Dに導通する電極3Dを形成する。

【0022】(8) 酸化膜層11aの上部のシリコンをカンチレバーチップ形状にエッティングし、カンチレバー部1bの酸化膜を除去する。

(9) ウェハ11の裏面側でカンチレバーチップ1の台座1cとなる部分のみを酸化膜(図示せず)で覆った状態で、ウェハ11の裏面から水酸化カリウム溶液を用いたSiのエッティング及びBF3(バッファードフッ酸)を用いた酸化膜のエッティングを行う。

【0023】以上の工程で図2に示した構造のチップ、すなわち探針変位検出用の電界効果トランジスタ2がカンチレバー部1bの固定端部に形成されたカンチレバーチップ1が完成する。

【0024】なお、以上の工程においては、SOIウェハを材料として用いたが、これに限定されず、例えばp型シリコン基板上にn型層をエピタキシャル成長させてウェハ、あるいはp型シリコン基板の表面層にn型層を拡散によって形成したウェハ等をチップ製作用の材料として用いてもよい。この場合、図4の工程(9)で行うシリコンエッティングの際に、電気化学的なエッティングトップ技術(IEEE, Transactions on Electron Device vol. 36, No. 4, 1989)を用いてカンチレバー部を形成する。

【0025】ここで、以上の実施の形態では、電界効果トランジスタ2をセンサ部のみに形成しているが、このほか、同様な構造の電界効果トランジスタを、温度補償用としてカンチレバー部1bの撓みによる応力が及ばない位置に形成しておけば、素子の温度特性を向上させることができる。

※50

【0026】また、変位検出用の電界効果トランジスタ2の形成部位は、カンチレバー部1bの固定端部だけに限られず、カンチレバー部1b自体にも形成しておいてもよい。さらに、このような電界効果トランジスタ2の構成は、集積回路作製プロセスとの整合性があるため、他の回路との集積化も可能であることから、カンチレバーチップに電界効果トランジスタの出力増幅用の増幅器を実装することも可能であり、この場合、変位検出信号のSNを高めることができる。

【0027】さらにまた、以上の実施の形態では、圧電薄膜としてPZTを用いた例を示したが、材料はこれ以外にも圧電性を示すものであればよく、例えばチタン酸バリウム(BaTiO₃)、ZnOのほか、圧電性高分子であるPVDF(ポリフッ化ビニリデン)などでも可能である。なお、PVDFを用いる場合、その形成方法としては、例えばPVDFとトリフロエチレンの共重合体(液状)をシリコンウェハ上にスピンドルコートし、この塗布膜をフォトリソグラフィ、アルゴンイオンエッチング等によりパターニングするといった方法を採用すればよい。

【0028】また、以上の実施の形態ではソースとゲートを共通電位としているが、これらを独立にすることにより別々の電位を与えてよい。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、カンチレバー部の少なくとも固定端部に、ゲート部に圧電体をもつ電界効果型トランジスタを形成し、その電界効果トランジスタの出力変化から探針の変位を検出する

ように構成したから、カンチレバーチップに自己変位検出機能を持たせることができ、従来用いられていた変位検出用光学系が不要となる。これにより、簡単な構成の走査型プローブ顕微鏡を実現できる。またカンチレバーチップ交換時における光軸調整も不要となることから、観察に必要な時間を短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】走査型プローブ顕微鏡(AFM)の従来の構造例を示す図

10 【図2】本発明の実施の形態に用いるカンチレバーチップの構造を模式的に示す図で、(a)及び(b)はそれぞれ平面図及び側面図

【図3】そのカンチレバーチップに形成した電界効果型トランジスタの構造を模式的に示す図で、(a)は図2のA部詳細図、(b)は(a)のB-B断面図

【図4】図2に示すカンチレバーチップの作製方法を説明する図

【符号の説明】

1 カンチレバーチップ

20 1a 探針

1b カンチレバー部

1c 台座

2 電界効果型トランジスタ

2S ソース領域

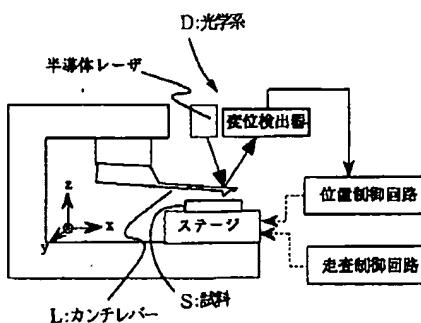
2D ドレイン領域

2C チャンネル領域

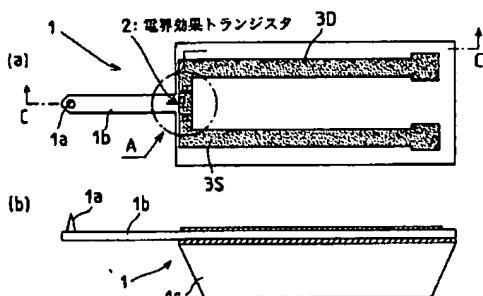
2G ゲート部

TF 圧電薄膜

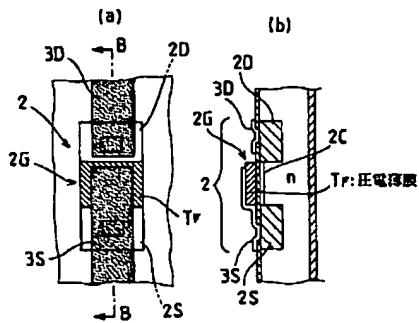
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

